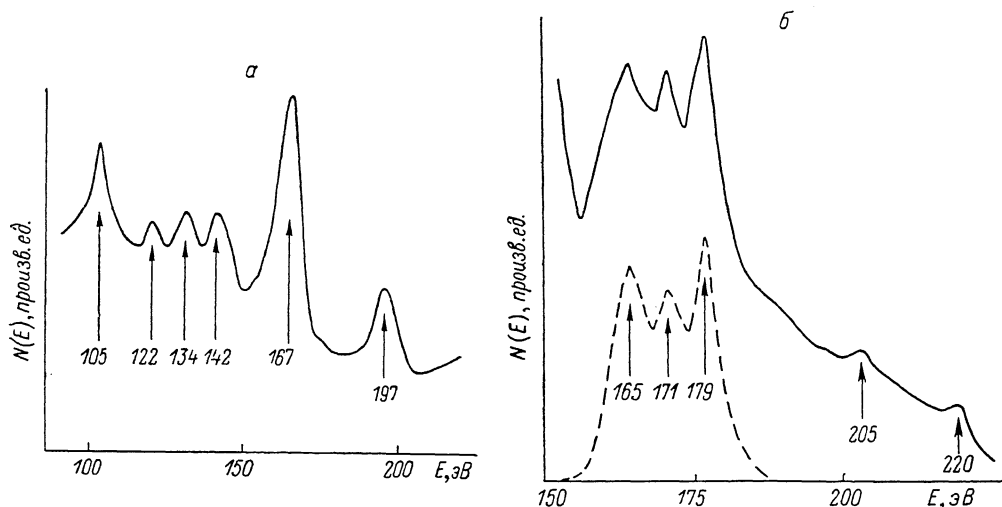


ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ В УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ ВТОРИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА В ЭЛЕКТРОННОЙ ОЖЕ-СПЕКТРОСКОПИИ

А. П. Казанцев

Широко распространено мнение о том, что высота пиков Оже составляет единицы процентов от фона неупругоотраженных электронов (НОЭ) [1]. Поэтому для повышения чувствительности метода электронной оже-спектроскопии большинство исследователей считают необходимым применение метода электрического дифференцирования. Однако это утверждение не всегда справедливо.

Нам удалось относительно простым способом повысить чувствительность метода электронной оже-спектроскопии. Он позволяет записывать недифференцированные оже-спектры в виде кривых $N(E)$ с пиками Оже, достаточно большими как для анализа их формы, так



а — оже-спектр поверхности чистого поликристаллического ниобия, энергоанализатор — конденсатор Юза-Рожанского, $E_p=1500$ эВ, $V_{разв}=0.7$ В/с; б — панорамный оже-спектр монокристалла вольфрама {110}, записанный с помощью четырехсеточного квазисферического энергоанализатора с тормозящим полем.

и для количественного анализа, основанного на измерении площадей под оже-пиками. При этом отпадает необходимость применения электрического дифференцирования экспериментальных кривых.

Суть способа измерений оже-спектров заключается в выборе оптимальных геометрических условий эксперимента, а именно: пучок первичных электронов падает на мишень под углом, близким к скользящему, а регистрация оже-электронов осуществляется в направлении нормали к поверхности мишени. В этом случае отношение оже-сигнала к уровню фона НОЭ максимально, так как при угле падения первичного пучка, близком к скользящему, основная масса НОЭ, на медленно меняющийся фон которых наложены оже-пики, группируется вокруг направления зеркального отражения либо в направлении, обратном направлению первичного пучка [2], и фон НОЭ в направлении нормали к поверхности мишени значительно снижен.

Что касается оже-электронов, то, как известно, наибольшая интенсивность их наблюдается в направлении нормали к поверхности мишени, а их количество возрастает пропорционально секансу угла падения первичных электронов на мишень.

Влияние геометрического фактора экспериментально проверялось при измерении недифференцированных оже-спектров в оже-спектрометре с энергоанализатором типа Юза-Рожанского для мишеней из различных материалов в виде круглых стержней и плоских полированных пластин. Недифференцированные оже-спектры при скользящем угле падения

первичных электронов измерялись в оже-спектрометре с четырехсечочным квазисферическим анализатором с тормозящим полем.

В качестве примера приведены недифференцированные спектры оже-электронов для поликристаллического ниобия и монокристалла вольфрама {110} (см. рисунок, а, б), записанные для чистых поверхностей в вакууме $\sim 5 \cdot 10^{-10}$ Тор. После тщательной очистки мишеней (стержня ниобия $\varnothing 1$ мм прямонакальным термическим прогревом при $T=2300$ К в течение 12 ч, а пластины вольфрама путем прогрева электронной бомбардировкой в атмосфере кислорода при давлении $P_{O_2} \approx 10^{-7}$ Тор при $T=1800$ К, а затем вспышками до 2300 К в вакууме $\sim 10^{-9}$ Тор) в пределах чувствительности измерений в оже-спектрах не наблюдались никаких других оже-пиков, кроме пиков ниобия (а) и вольфрама (б). Положения оже-пииков по шкале энергий определены с точностью ± 1 эВ. Они хорошо совпадают с литературными данными. Поправка на контактную разность потенциалов между поверхностью образца и входной щелью анализатора не вводилась.

Методика измерений позволяла регистрировать как панорамный оже-спектр в интервале энергий от 80 до 600 эВ, так и отдельные оже-пики. Максимальная величина оже-пииков была такой, что оже-сигнал достигал 80 % для ниобия и 50 % для вольфрама от уровня фона. НОЭ при соотношении сигнал / шум, равном 200 : 1.

Нам известно лишь несколько работ, в которых получены путем прямых измерений (без интегрирования) недифференцированные оже-спектры вольфрама [3-5]. Это объясняется сравнительно малыми коэффициентами относительной чувствительности для основных оже-переходов в атомах тяжелых элементов. Кроме того, в общепринятой методике регистрации оже-спектров малые значения отношения сигнал / фон обусловлены неизбежными вторичными электронами, вызванными неупругим рассеянием.

Хорошо разрешенные по энергии три близко расположенных оже-пика вольфрама ($N_5 N_6 O_3 - 165$, $N_4 N_7 O_2 - 171$, $N_4 N_6 O_3 - 179$ эВ) (б) записаны при токе в пучке ~ 1 мА с энергией 2 кэВ при скорости развертки задерживающего потенциала 0.3 В/с. Для сравнения на рисунке, б штриховой кривой показаны оже-спектр вольфрама, теоретически рассчитанный в [6]. Наблюдается качественное совпадение его с измеренным нами спектром как по соотношению высот основных пиков, так и по их энергетическому положению.

Таким образом, использование геометрического фактора существенно повышает отношение сигнал / фон и позволяет записывать недифференцированные оже-спектры с достаточно большими оже-пиками. Наглядность таких спектров облегчает анализ экспериментальных данных, уменьшает возможность ошибок и делает метод электронной оже-спектропии более доступным для широкого круга исследователей.

Список литературы

- [1] Гомоюнова М. В. // ЖТФ. 1976. Т. 46. С. 1137—1170.
- [2] Бронштейн И. М., Фрайман Б. С. Вторичная электронная эмиссия. Москва, 1969. 407 с.
- [3] Haas T. W., Grant J. T., Dooley G. E. // Phys. Rev. B. 1970. Vol. 1. N 4. P. 1449—1459.
- [4] Rawlings K. J., Hopkins B. J., Faulias S. D. // J. of Electron Spectroscopy and Related Phenomena. 1980. Vol. 18. N 1. P. 213—215.
- [5] Harrower G. A. // Phys. Rev. 1956. Vol. 102. N 2 P. 340—347.
- [6] Chorkendorff I., Onsgaard J. // Phys. Scripta. 1983. Vol. 4. N 1. P. 165—168.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
16 мая 1988 г.

КОГЕРЕНТНОЕ ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В КРИСТАЛЛАХ СО СВЕРХРЕШЕТКОЙ

В. Н. Рудько

Теоретический и экспериментальный интерес к кристаллам со сверхрешеткой (КСС) стимулирован достижениями передовой технологии, основанной на методе молекулярной эпитаксии [1]. Отличие постоянных решетки материалов в чередующихся слоях приводит